

*В. А. Шаворин¹**

Схема методики обработки данных наземного интерферометрического сканирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: shavorinva@yandex.ru

Аннотация. Наземное интерферометрическое сканирование является достаточно молодой технологией мониторинга стабильности откосов как в мире, так и в России. В последние несколько лет количество отечественных компаний, применяющих данную технологию на своих производственных объектах, увеличивается. В связи с этим при внедрении георадаров на производстве и дальнейшей эксплуатации выявляется ряд проблем, требующих решений. Посторонние «шумы» на интерферограмме сканирования, являющиеся следствием работы техники, перепадов температур, атмосферных явлений, зачастую негативно сказываются на качестве анализа смещений горного массива. В данной статье описаны варианты, способствующие уменьшению количества посторонних шумов, а также приведена методика, позволяющая выявить ложные срабатывания радара, как при геотехнических предупреждениях, так и при сигнализации аппаратного обеспечения радаров.

Ключевые слова: наземное интерферометрическое сканирование, георадар, карьер, геотехнический мониторинг, открытые горные работы

*V. A. Shavorin¹**

Scheme of the terrestrial interferometric scanning data processing technique

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Russian Federation, Novosibirsk
*e-mail: shavorinva@yandex.ru

Annotation. Ground interferometric scanning is a new technology for monitoring slope stability both in the world and in Russia. Over the past few years, the number of domestic companies using this technology at their production facilities has been increasing. In this regard, when introducing georadars into production and further operation, a number of problems are identified that require solutions. Extraneous “noise” in the scanning interferogram, resulting from the operation of equipment, temperature changes, and atmospheric phenomena, often negatively affects the quality of the analysis of rock mass displacements. This article describes options to help reduce the amount of extraneous noise, and provides a technique that allows you to identify false radar alarms, both in geotechnical warnings and in radar hardware alarms.

Keywords: ground-based interferometric scanning, georadar, quarry, geotechnical monitoring, open pit mining

Введение

Безопасное и эффективное освоение месторождений полезных ископаемых открытым способом осложняется тем, что с увеличением глубины ведения горных работ значительно возрастает вероятность обрушения бортов карьера. В начале 2000-х годов, как результат поиска эффективной системы за наблюдением откосных сооружений, были разработаны радарные установки, позволяющие вести высокоточные наблюдения за смещениями в непрерывном режиме. Интерферометрический наземный радар был разработан в Университете Квинсленда (Австралия), специально для использования его на карьерах и разрезах [1]. В настоящее время как зарубежные, так и отечественные компании активно используют георадары на своих объектах, качественно решая геомеханические задачи мониторинга деформационных процессов на объектах открытых горных работ [2, 3].

Основные проблемы в интерпретации данных наземного интерферометрического сканирования

Одной из главных проблем, с которой сталкивается геомеханическая служба карьеров при интерпретации данных интерферометрического сканирования, являются «шумы». Теоретически, конструкция георадара и принцип его действия позволяют измерять смещения массива с субмиллиметровой точностью. Необходимо учитывать, что измерения происходят с помощью электромагнитных волн, которые отражаются от горного массива, и на которые оказывает влияние множество факторов [4, 5].

Погодные явления и изменяющиеся метеоусловия являются основными источниками «зашумленности» интерферограмм и наиболее негативно сказываются на получаемых данных. При резких перепадах температуры в осеннее и весеннее время, из-за снегопада или оттайки бортов и намерзания льда, шумы на интерферограмме сканирования могут мешать правильной интерпретации данных, что в свою очередь негативно сказывается на безопасности ведения горных работ (рис. 1, 2).

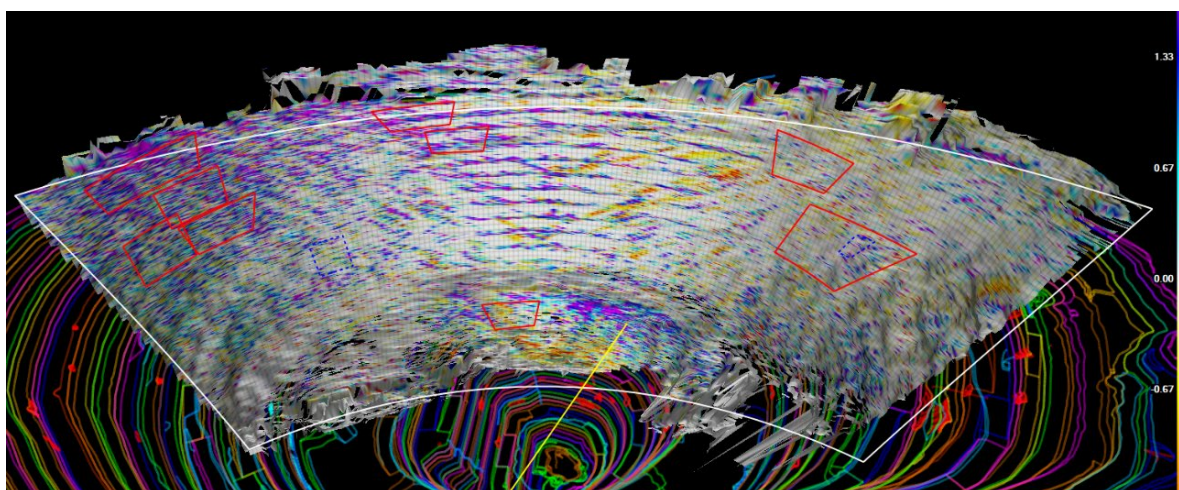


Рис. 1. Интерферограмма скорости в период оттайки бортов

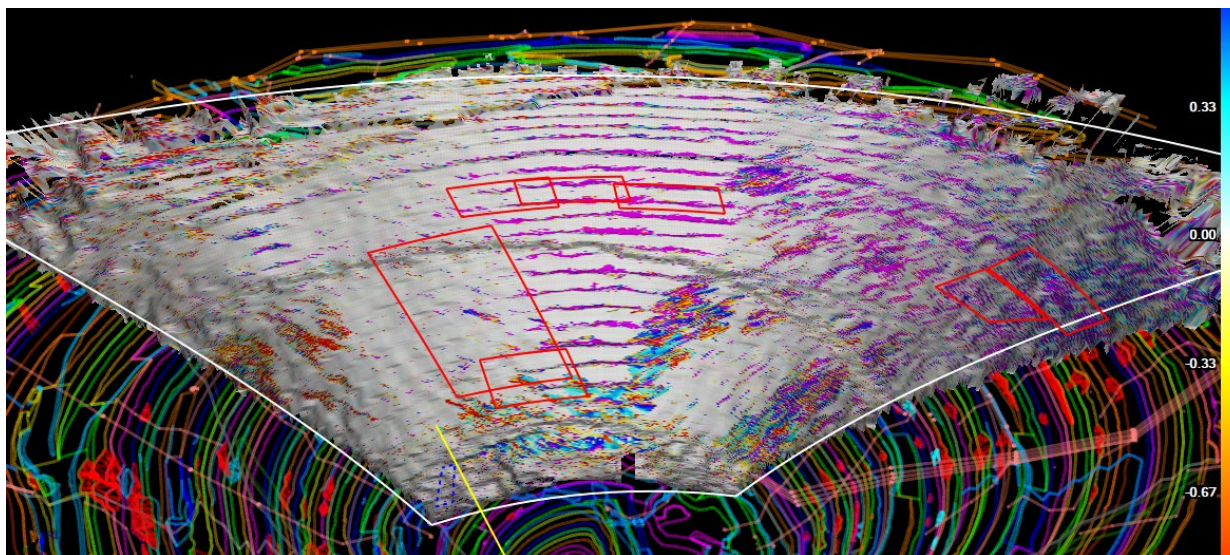


Рис. 2. Интерферограмма скорости в период активного снегопада

Производителями радаров были разработаны и внедрены несколько методик, которые позволяют уменьшить количество «зашумленности» в получаемых данных. Практически все они относятся к программному внесению поправок в алгоритмы вычислений георадаров. К таким методам относятся;

- установка метеостанции на радаре, позволяющей в автоматическом режиме вводить поправку за рефракцию в результаты сканирования;
- алгоритм отслеживания статистического изменения пикселей для классификации областей, подходящих для атмосферной коррекции и др. [6].

Единственный метод, который может контролировать сам пользователь, в целях минимизации влияния атмосферной рефракции, является создание условных зон устойчивости. Метод позволяет выбрать точки или области в зоне сканирования георадара, которые будут считаться стабильными, и любое измеренное на них смещение будет считаться вызванным влиянием рефракции и будет скорректировано на ближайших областях.

При интерпретации данных наземного интерферометрического сканирования, как и в любой другой работе, присутствует человеческий фактор. Решения, которые принимает оператор, могут прямо влиять на эффективность системы раннего предупреждения осypаний и камнепадов. Минимизировать это позволяет опыт наблюдений за деформационными процессами, их анализ и наработанная база случившихся деформаций на каждом конкретном месторождении [7].

Схема методики обработки данных наземного интерферометрического сканирования

После передачи данных сканирования с радара в виде интерферограммы и выявления аварийных сигналов главной задачей является их анализ и верная интерпретация.

- Аварийный сигнал от радара приходит в двух случаях;
- неисправность аппаратного обеспечения радара;

– геотехническое предупреждение.

При проблемах со связью, нарушении работы или аварийной остановке, отключении питания, недостатке места для записи данных, ошибках в работе метеостанции и прочих вспомогательных датчиков радар выдает предупреждение об остановке сканирования и прекращении получения данных с радара. Если это предупреждение подтверждается, необходимо произвести диагностику системы, исправить выявленные ошибки, после чего радар может продолжить сканирование.

На рис. 3 приведена схема интерпретации данных интерферометрического сканирования и выявления ложных срабатываний.

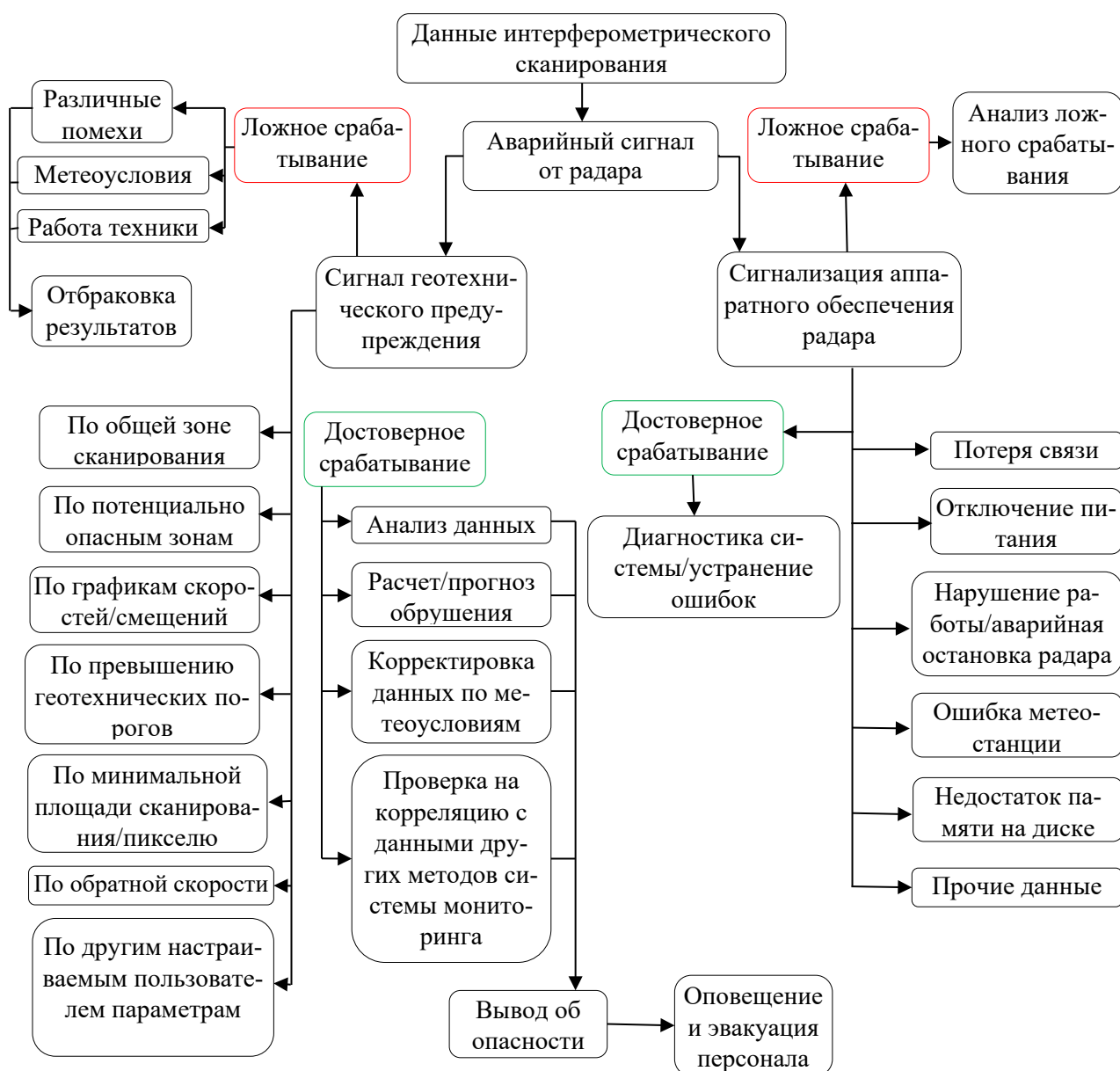


Рис. 3. Схема методики обработки данных интерферометрического сканирования

При срабатывании геотехнического предупреждения необходимо выявить, имеет ли место истинное смещение элемента карьера или это ложное срабатывание. Результаты ложного срабатывания отбраковываются и не принимаются к оповещению ответственных лиц. На результаты ложного сканирования могут влиять такие условия, как работа техники, неблагоприятные метеоусловия и различные помехи [8, 9]. При достоверном срабатывании происходит предупреждение по одному или нескольким критериям, указанным на схеме. Это может быть предупреждение по общей зоне сканирования, по потенциально-опасным участкам, определенным ранее, по графикам скоростей и смещений, по минимальной площади сканирования и еще по ряду факторов. В этом случае инженер геомеханической службы производит анализ данных, расчет и прогноз времени возможного обрушения. При необходимости производится корректировка данных по метеоусловиям и их проверка на корреляцию с другими методами мониторинга, основанные на использовании роботизированных тахеометров или ГНСС-технологий, при их наличии. На основании вышеизложенного делается вывод об опасности нестабильного участка и последующие действия по оповещению и выводу людей и техники из опасной зоны [10].

Заключение

В статье приведен анализ факторов, которые могут вызвать ложные срабатывания георадара, и приведена методика обработки данных наземного интерферометрического сканирования, которая позволяет идентифицировать ложные сигналы срабатывания геотехнических предупреждений и аппаратного обеспечения георадара.

Предложенная схема позволяет повысить эффективность определения ложных срабатываний и безопасность ведения горных работ и, снизить непроизводительные простои при открытой разработке месторождений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dick G.J. Development of an early warning time-of-failure analysis methodology for open pit mine slopes utilizing the spatial distribution of ground-based radar monitoring data // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science. The University of British Columbia (Vancouver). – 2013. – P.436 – DOI:[10.1139/cgj-2014-0028](https://doi.org/10.1139/cgj-2014-0028)

2. Бережной В.П., Кулешов А.Е., Шаворин В.А., Лушников В.Н., «Современные методы геотехнического мониторинга и гидрогеологических исследований на карьерах Олимпиадинского ГОКа». Горный журнал №10, 2020 г., С. 26–29.

3. Шаворин В.А., Кулешов А.Е. Современные методы наземной интерферометрии при мониторинге прибортовых массивов на открытых горных работах. Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2021. Том 1. – С. 111-118.

4. Шаворин В.А., Горилько А.С. Исследование точности систем измерения сдвигов бортов на примере 3D радара Groundprobe SSR-XT // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2020 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. Т. 1, ч. 1. – С. 144–151.

5. Исмагилов Р.И., Захаров А.Г., Бадтиев Б.П., Сенин Н.В., Павлович А.А., Свириденко А.С. Использование (опыт тестирования) георадара на участке строительства крутонаклон-

ного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева. Горная промышленность №3. 2020. С. 84-90.

6. Cabrejo A., Bellet P., Stickley G., Silva R., Gunaris Y., Perez J. Risk management and alarming based on a new atmospheric correction algorithm ground-based radars // Slope Stability 2020. Australian Centre for Geomechanics. – Perth – 2020. – P. 319-338 – DOI:10.36487/ACG_repo/2025_17

7. Shellam, R., Coggan, J. (2020). Analysis of velocity and acceleration trends using slope stability radar to identify failure signatures to better inform deformation trigger action response plans. Slope Stability 2020. Australian Centre for Geomechanics. Perth. P.227-240. DOI:10.36487/ACG_repo/2025_10

8. Macqeen G.K., Salas E.L., Hutchison B.J. Application of radar monitoring at Savage River Mine, Tasmania // Slope Stability 2013. – С. 1011-1020.

9. Bellet P., Noon D., Leva D., Rivolta C. 3D and 2D radars for open-pit slope monitoring // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Slope Stability, 2015. – С. 1-14.

10. A. Michellini, F. Viviani, M. Bianchetti, N. Coli, L. Leoni, CJ. Stopka, A new radar-based system for detecting and tracking rockfall in open pit mines, Australian Centre for Geomechanics, Perth, Slope Stability 2020, с. 1183- 1191.

© В. А. Шаворин, 2024